

09/100473
RU 99 | 336

500 ₽



РОСРУГР / 00336
09-700,473



EU

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(РОСПАТЕНТ)

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ

рег.№ 20/14-648

"29" ноября 1999 г.

50 ₽

С П Р А В К А

REC'D 28 JAN 2000

ИМПО РОСТ

Федеральный институт промышленной собственности Российского агентства по патентам и товарным знакам настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы и чертежей (если имеются) заявки на выдачу патента на изобретение № 99118131, поданной в августе месяце 16 дня 1999 года.

Название изобретения: Способ нанесения износостойких покрытий и повышения долговечности деталей

Заявитель: ПАДЕРОВ Анатолий Николаевич
ВЕКЛЕР Юрий Генрихович

Действительный автор(ы): ПАДЕРОВ Анатолий Николаевич
ВЕКЛЕР Юрий Генрихович



PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Уполномоченный заверить копию
заявки на изобретение

Г.Ф. Востриков
Заведующий отделом

99118131

МКИ⁶ С 23С -14/34

МКИ F 02B-77/02,04

**Способ нанесения износостойких покрытий и повышения долговечности
деталей.**

Настоящее изобретение относится к области металлургии и машиностроения, а именно к разработке способов повышения долговечности и надежности деталей машин, в частности, к лопаткам компрессоров газовых турбин авиационных двигателей путем нанесения покрытий на металлические поверхности.

Самолеты и вертолеты с газотурбинными двигателями часто эксплуатируются в условиях значительной запыленности воздушного потока, а также высокой влажности морской среды с агрессивными компонентами коррозионной активности. Такие условия работы приводят к воздушно-абразивной эрозии и коррозии деталей авиадвигателей, особенно лопаток компрессоров. Происходит изменение геометрических размеров лопаток, снижение эксплуатационных характеристик, потеря мощности, увеличение расхода топлива и значительный рост расходов на техническое обслуживание и ремонт двигателей. Применение пылезащитных устройств для предотвращения таких процессов недостаточно эффективно.

Изношенные лопатки обычно восстанавливаются путем полировки кромки профиля, или заменяются новыми. Так как лопатки компрессоров изготавливают из сплавов на основе титана или высоколегированных сталей, которые имеют высокую

стоимость и трудно обрабатываются, то ремонт двигателей становится очень дорогим.

Известен способ нанесения покрытий, устойчивых к эрозии и коррозии (Патент США № 49045420 от 27.02.1990г., пересмотренный под № Re 34173 от 02.02.1993 г. для Midwest Research Technologies Inc), который описывает покрытие, состоящее из множества чередующихся металлических и керамических слоев. Два материала, выбранные для этих слоев имеют дополняющие друг друга характеристики сопротивления износу - один из них пластичен, а другой тверд и хрупок. Предпочтительно используют радио-частотное распыление для нанесения покрытия, так как оно не вызывает чрезмерного нагрева, который может оказаться неприемлемым для детали, на которую нанесено покрытие.

Известен также способ осаждения тонких пленок CN_x с имплантацией ионов азота из плазмы (Патент США № 5580429 от 03.12.1996 г. для Северо-Восточного Университета). В нем описан вакуумный дуговой источник с системой плазменно-ионной имплантации для нанесения тонких покрытий на подложки. Как катодные, так и анодные вакуумные дуговые источники (CAVAD) используются для создания плазмы твердых материалов катода или анода в катодной или анодной дуге, соответственно. Газы, например, водород или азот могут находиться в пленках путем создания фоновой плазмы (плазмы заднего плана) требуемого газа с использованием энергии RF, термоионной эмиссии или последующей ионизации газа, проходящего через дугу или вокруг субстрата. Применяются высокие отрицательные импульсы для извлечения ионов и обеспечения их необходимой энергией при образовании тонкой пленки с целью получения требуемого покрытия с переменным соотношением углерод/азот.

Известен также способ (Патент РФ № 2062818 БИ №18 от 27.06.96) нанесения металлоксодержащих покрытий на крупноразмерные подложки в вакууме,

включающий очистку подложки пучком ионов инертного газа и нанесение металлосодержащего покрытия на подложку катодным распылением в разряде инертного газа при одновременной бомбардировке подложки пучком ионов инертного газа, который формируется ускорителем с замкнутым дрейфом электронов и энергии ионов инертного газа 50-150 эВ, который является наиболее близким по технической сущности к предполагаемому изобретению.

Однако, патенты США № 4904542, № 5580429 и патент РФ № 2062818 не рассматривают вопросы долговечности и износостойкости деталей, и особенно поверхности лопаток авиационных двигателей, к которым предъявляется определенный комплекс различных требований по износостойкости, коррозионной стойкости, сохранению уровня механических, и особенно усталостных свойств. Следовательно, существует необходимость повышения эрозионной и коррозионной стойкости и, следовательно, надежности и долговечности деталей различных машин, приборов и оборудования и, особенно, лопаток компрессоров газотурбинных двигателей, с использованием вакуумно-плазменных технологий и ионной имплантации.

Целью данного изобретения является создание такого способа нанесения покрытия на металлические поверхности, в частности на детали паровых и газовых турбин, а еще более конкретно - на лопатки компрессора авиационного двигателя, который обеспечивал бы повышенное сопротивление эрозии, коррозии и сохранял достаточный уровень механических свойств, а точнее усталости.

Еще одной целью является восстановление размеров деталей, поврежденных эрозией или коррозией, в частности профиля лопатки компрессора авиадвигателя до исходной геометрической формы и качества поверхности.

Поставленная цель достигается тем, что наносится многослойное покрытие, преимущественно четырехслойное при определенном соотношении толщины и

состава микрослоев, Нанесение покрытия производят ионно-плазменным осаждением, упомянутое покрытие состоит из первого микрослоя (подмикрослоя из скандия, иттрия или редкоземельных металлов – лантана и лантаноидов) и множества микрослоев, каждый из которых состоит из металлов гр. IVA-VIA периодической системы(Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W,) или их сплавов, твердых растворов элементов внедрения в этих металлах (углерода, азота, бора) и их нитридов, карбидов или боридов, причем один или несколько из этих микрослоев были подвергнуты имплантации высокознергетических неметаллических ионов (аргона, азота, углерода, бора).

Под термином микрослой в данной заявке подразумевается слой чистого металла, или многокомпонентного сплава, или соединения металл-неметалл, нанесенный с помощью ионов или нейтральных частиц в среде подходящего инертного газа или реакционного неинертного газа, таких как азот, метан, ацетилен, диборан, соответственно с требуемой толщиной, преимущественно 0,1-10 мк. Микрослой может быть дискретным слоем, отличающимся от примыкающего основного материала детали, или другого ранее нанесенного микрослоя, или может составлять с ними некоторую смесь. Каждый микрослой может представлять собой чистый металл, или смесь металлов, если при осаждении активированы одновременно несколько катодов. Множество микрослоев подбирается путем напуска в рабочую камеру соответствующей газовой атмосферы и активации соответствующих катодов. Способ нанесения покрытия позволяет выбирать количество и порядок чередования необходимых слоев и их ионную имплантацию в зависимости от конкретных требований, которые обусловлены рабочими характеристиками детали и изделия в целом. Например, для лопаток направляющего аппарата компрессоров авиадвигателей важно иметь высокую твердость и износостойкость поверхности, при этом усталостные характеристики

основного сплава не являются лимитирующим фактором, так как лопатки не испытывают больших усталостных нагрузок. Рабочие лопатки, напротив очень чувствительны к сохранению уровня усталостных характеристик, так как они подвергаются значительным переменным напряжениям. Поэтому покрытия для направляющих и рабочих лопаток могут иметь различную толщину и количество слоев.

Заявляемый способ предусматривает нанесение как минимум трех или четырех функциональных микрослоя:

1- адгезионный микрослой, обеспечивающий прочную связь покрытия с поверхностью детали или микрослоев между собой наносится из катода, состоящего из скандия, иттрия или редкоземельного металла в нейтральном газе и имеет обычно толщину 0,02-0,8 мк.;

2- демпфирующий и коррозионностойкий микрослой, обеспечивает релаксацию напряжений между твердыми слоями, возникающие при эрозионном воздействии и сплошность от проникновения коррозионно-активных сред и представляет собой один из переходных металлов IVА-VIA групп или сплавы замещения на основе этих металлов, осаждается в атмосфере нейтрального газа и имеет толщину порядка 0,02-5 мк;

3- армирующий слой, который обеспечивает плавный переход к высокотвердому слою и состоит, в основном, из твердых растворов внедрения азота, бора, углерода на базе переходных металлов второго слоя, осаждается в атмосфере реакционного газа (соответственно азота, или диборана, или метана при парциальном давлении $0,05-5 \times 10^{-1}$ Па) и имеет толщину 0,04-10 мк;

4- износостойкий, высокотвёрдый микрослой, обеспечивающий сопротивление абразивным частицам при эрозии, состоит из фаз внедрения типа нитридов, боридов, карбидов или их сложных соединений на основе этих же переходных металлов,

осаждается в атмосфере соответствующих реакционных газов при парциальном давлении $0,1\text{--}5 \times 10^{-1}$ Па и имеет толщину 0,1–12,5 мк.

Осаждение каждого из указанных выше функциональных слоев обеспечивается изменением парциального давления, состава газа и временем осаждения в заданных условиях. Пример микроструктуры заявляемого многослойного покрытия на лопатке компрессора авиадвигателя из титанового сплава приведен на рис. 1.

Одновременно проводится ионная имплантация одного или нескольких микрослоев неметаллическими атомами – аргоном, азотом, углеродом или бором, причем, имплантация должна осуществляться непосредственно в камере ионно-плазменной установки одновременно с процессом осаждения слоя. Имплантацию проводят ионами с энергией $5 \times 10^3\text{--}1 \times 10^5$ эВ и дозой облучения (флюенсы) $5 \times 10^{13}\text{--}1 \times 10^{18}$ ион/см².

Энергия имплантируемых ионов значительно выше энергии ионов, образуемых при нанесении покрытия в камере ионно-плазменной установки. Эти ионы глубоко проникают в кристаллическую решетку осаждаемых металлов или фаз внедрения, вызывают изменение концентрации элементов внедрения, образование твердых растворов, сверхструктурных, нестехиометрических соединений и изменение субмикроструктуры и напряженного состояния микрослоев, повышают адгезионную прочность и сопротивление многослойного покрытия эрозионному износу. При ионной имплантации могут возникать местные пики высоких температур и мгновенное охлаждение этих участков поверхности, что также приводит к повышению прочностных и трибологических свойств осажденных микрослоев, подвергнутых имплантации. Пример фрагментов рентгеновских дифрактограмм, полученных после нанесения покрытий с различными видами имплантации в камере ионно-плазменной установки приведен на рис.2.

Для уменьшения риска перегрева или коробления детали при ионно-плазменном осаждении покрытий и ионной имплантации, особенно лопаток компрессоров авиадвигателей, необходимо использовать источник высокоэнергетических пульсирующих ионов. Ионы, полученные в таком источнике имеют энергию достаточно высокую для имплантации в кристаллическую решетку осаждаемой фазы, а также для создания высокопрочных соединений. Одновременно мгновенное охлаждение после импульса предотвращает перегрев основного материала детали, сопровождается резким охлаждением облучаемого участка поверхности, вызывает измельчение субструктурь, образование нанокристаллических или аморфизированных структур микрослоев.

Ионная имплантация увеличивает не только сопротивление эрозии и коррозии, но также повышает усталостную прочность деталей, особенно при больших циклах нагружения, т.е. в условиях многоцикловой усталости. Это объясняется возникновением сжимающих напряжений на межфазных границах и устойчивых дефектов структуры, связанных с образованием высокодисперсных преципитатов-предвыделений многокомпонентных соединений переменной валентности металлов с неметаллами.

В то же время такие сложные процессы осаждения многослойного покрытия и ионной имплантации могут наводить повышенные внутренние напряжения в поверхностных слоях деталей. Для их более благоприятного распределения необходимо непосредственно после окончания процесса нанесения покрытия проводить дополнительную обработку. После выгрузки деталей из ионно-плазменной установки должна проводиться виброобработка микрошариками.

Таким образом, заявляемый способ включает в себя следующие процессы:

1. Подготовка поверхности под ионно-плазменное осаждение.
2. Установка катодов из осаждаемых металлов или сплавов.

3. Помещение деталей или подложек в камеру ионно-плазменной установки, оборудованной ионным имплантатором.
4. Ионная очистка поверхности
5. Ионно-плазменное нанесение многослойных покрытий с поддержанием необходимых состава и давления газовых атмосфер внутри установки.
6. Ионная имплантация одного или нескольких слоев в процессе их формирования или после нанесения покрытия.
7. Охлаждение и выгрузка деталей.
8. Виброобработка микрошариками по заданному режиму.

Подписи к рисункам в заявку

Рис. 1 Микроструктура износостойкого покрытия на лопатке авиадвигателя из сплава на основе титана, $\times 500 \times 2$.

Рис. 2 Фрагменты рентгеновских дифрактограмм покрытий с различными видами имплантации.

Рис. 3. Результаты исследования многослойного покрытия методом спектроскопии обратного Резерфордовского рассеяния.

Рис. 4. Сравнительные эрозионные испытания лопаток компрессора ГТД по уносу массы.

5. Сравнительные эрозионные испытания лопаток компрессора ГТД по износу хорды.

Рис. 6. Результаты усталостных испытаний образцов и лопаток компрессоров с покрытиями и без покрытий.

Рис. 7, 7а Характер износа лопаток с покрытиями и без покрытий после натурных эрозионных испытаний на авиадвигателе.

Примеры конкретного выполнения заявляемого способа.

На практике, ионно-плазменное осаждение металлических ионов с соответствующего металлического катода в среде инертного газа, например, в атмосфере аргона, или для осаждения нитрида металла в атмосфере азота, осуществляется по общим принципам ионно-плазменного осаждения в камере низкого давления с горячим катодом, имеющей значительную разницу потенциалов между горячим катодом и анодом, которым является деталь.

Примеры покрытий, перечисленные в Таблице 1, были приготовлены следующим образом. Ионно-плазменное осаждение и имплантация проводились в установке типа ННВ-6.6, оборудованной дополнительно источником ионной имплантации типа «Пульсар», снабженной оптическими пирометрами высокой точности и системами дозированной подачи нейтральных и реакционных газов в камеру ионно-плазменного осаждения и в имплантор.

Титановые, или стальные, или изготовленные из сплава на никелевой основе лопатки компрессоров авиационных двигателей были сначала обработаны ионной плазмой аргона при давлении $(0,1 - 10) \times 10^{-1}$ Па и разницей потенциалов до 1500 вольт между титановым катодом и лопatkами, для очищения поверхности лопаток от твердых, жидких или поглощенных газовых примесей.

Рассмотрим подробнее 17 вариант нанесения покрытия. После подготовки поверхности путем абразивно-жидкостной обработки, промывки и сушки, лопатки из сплава типа ВТ6 помещались в камеру ионно-плазменной установки и подвергались ионной очистке в инертном газе, затем проводилось осаждение многослойного покрытия, начиная со скандия.

Подмикрослой скандия толщиной 0,3 – 0,5 микрон был осажден на поверхность лопаток под давлением аргона $(0,1 - 1,0) \times 10^{-1}$ Па, при токе нагрева скандиевого катода 10 - 200 ампер для обеспечения температуры 200 - 400 градусов Цельсия и разнице потенциалов 700 - 1000 вольт между лопатками и скандиевым катодом. В этот раз титановый катод и циркониевый катоды не нагревались. Эта стадия заняла примерно 2 минуты, и лопатки вращались со скоростью примерно 2,5 об/мин. Титановый микрослой толщиной 2 мк был затем нанесен путем дезактивации скандиевого катода в результате выключения его источника тока и нагрева титанового катода путем приложения тока 20 - 200 ампер и разницы потенциалов 100 - 800 вольт между анодом и лопатками в атмосфере аргона. В течение этой стадии достигалась температура катода до 700 градусов Цельсия. Затем проводилось осаждение титана толщиной 1-2 мк в азотной атмосфере, которая напускалась в рабочую камеру при парциальном давлении последнего $(0,5 - 2,0) \times 10^{-1}$ Па. Затем давление повышалось до $(3,0 - 6,0) \times 10^{-1}$ Па и формировался микрослой нитрида титана толщиной примерно 4мк. Температура лопаток поддерживалась в интервале 480-550°C для предотвращения каких-либо фазовых изменений в лопатках. Титановый катод был дезактивирован, а циркониевый катод нагрет до той же температуры с той же плотностью тока и разницей потенциалов, что и в предшествующей стадии осаждения титана. При нанесении слоев нитрида титана и нитрида циркония проводилась ионная имплантация азотом. Вышеперечисленные стадии осаждения были повторены в той же последовательности несколько раз для получения заданной толщины покрытия.

В альтернативных вариантах описанные стадии осаждения титана и циркония могут быть повторены, заменены или поменяны местами на стадии ионного осаждения нитрида титана и (или) нитрида циркония, выполненные в атмосфере азота. Чередование различных микрослоев обеспечивается поочередным

нагреванием титанового или циркониевого катодов в атмосфере аргона или азота, или одновременной активацией титанового и циркониевого катодов. Изменение состава различных слоев одного из вариантов исследованного покрытия, полученного по заявляемому способу, полученное методом обратного Резерфордовского рассеяния приведено на рис.3. Ясно, что требуемая общая толщина покрытия может быть получена благодаря множеству микрослоев, скажем, предпочтительно, 3 - 20.

В предпочтительных вариантах, каждый или некоторые из микрослоев покрытия на различных стадиях его нанесения подвергают воздействию высокоэнергетического потока ионов аргона, или азота, или углерода, или бора путем контроля атмосферы и активации различных катодов, при этом разница потенциалов между электродом ионного имплантатора и лопатками составляет 10 - 50 киловольт.

Ионные имплантаторы известны в данной области производства. В нашем случае, ионный имплантатор типа «Пульсар» обеспечивается дугой низкого давления между экранированным катодным пятном и расширенной анодной частью разряда. Дуга вырабатывает ток неметаллических ионов аргона или реакционной газовой среды, впрыскиваемой в имплантатор с созданной эмиссионной поверхности анодной плазмы. Эмиссия ионов катода имплантатора незначительна, т.к. катод не нагревается. Далее, экранирование катодного пятна предотвращает его взаимодействие с анодной плазмой и снижает загрязнение газоразрядной плазмы металлическими ионами. Поэтому только ионы дуговой анодной плазмы входят в оптическую систему, которая образует пучок высокоэнергетических ионов. Плазма содержит менее 0,1 % металлических ионов.

В процессе, соответствующем данному изобретению, использовались следующие параметры:

Ускоряющее напряжение	до 50 кВ
Ток ионного пучка: в импульсе	1 А
средний	50 mA
Поперечное сечение пучка:	широкий пучок 150 см ²
	конвергентный пучок 5 см ²
Длительность импульса	1x10 ⁻³ секунд
Частота повторения	1 - 50 сек ⁻¹
Типы ионов -	ионы химически активных или инертных газов.

Пучок ионов азота, углерода или аргона, исходящий от испускающего электрода, ускоряется через ускоряющий электрод и выходной электрод, чтобы попеременно оседать, как это требуется, на отдельные микрослои осаждаемого покрытия.

Таблица 1 дает структурный порядок микрослоев и состав образцов покрытых деталей в соответствии с данным изобретением.

Таблица 1.

№ образца	состав материала	Количество микрослоев в покрытии	Общая толщина покрытия (микрон)	Материал и порядок нанесения
1	Сталь	8	24-30	Ti,Zr,TiN,ZrN

	нержавеющая			
2	Сплав титана	8	16-20	Ti,Zr,TiN,ZrN
3	Сплав титана	8	20-22	Ti,Zr,TiN,ZrN
4	Сплав на основе никеля	6	12-15	Ti,Zr,Mo,TiN, ZrN
5	Сплав на основе никеля	12	15-18	Ti,Zr,TiN,ZrN
6	Сплав титана	4	8-12	Ti,TiN,Zr, ZrN
7	Сплав на основе никеля	4	8-12	Ti,Zr,TiN, ZrN,B
8	Сталь нержавеющая	4	6-10	Ti,Zr,ZrN

9	Сплав титана	8	12-16	Sc,Ti,Zr,TiN, Zr, ZrN.+Ar,Sc, ZrN+Ar
10	Сталь нержавеющая	8	10-12	Sc,Ti,Zr,TiN,+N ,ZrN+N
11	Сплав титана	8	6-8	Ti,TiN,ZrN, +Ar
12	Инструмен- тальная сталь	3	3-5	WC,Ti,TiC, ZrC
13	Сплав никеля	2	4-6	Y,Ti,TiN+Ar
14	Сплав титана	12	14-18	Sc,Ti, TiN,+N, Ti,+N,Zr,TiN,Zr +N
15	Сплав никеля	20	18-22	P3M,Zr,ZrN,+ Ar, Zr,ZrN,+Ar, Ti,TiN+Ar
16	Сплав титана	36	18-22	Sc,Ti, TiN,+N, Zr, ZrN,Ti, TiN,+N Ti,TiN,+N, Zr, ZrN,
17	Сплав Ti-6Al-4V	16	14-18	Sc,Ti, TiN,+N, Zr, ZrN,+N,Ti, TiN

18	Сплав титана	30	28-32	Sc,Ti,TiN, +N, ZrN,TiN,Zr,+N; Ti,ZrN, TiN+Ar
19	Сплав титана	42	16-20	Cr,Cr ₃ C ₂ ,ZrC+C ,Zr,ZrC,+C,ZrC, Cr ₃ C ₂ ,ZrC
20	Сплав титана	56	14-18	Y,Ti,TiC, +C,Ti, ZrC,+C,ZrC,+C, TiC,+C, ZrC, TiC+C,ZrC, TiC,ZrC
21	Сплав титана	36	14-20	Y,Zr,ZrC,+C,Zr, TiC,+C,Ti, TiC,+C,Zr, ZrC

Примечание: + C, +N, +Ar - имплантация ионов углерода, или азота, или аргона соответственно, слои наносят в указанном порядке несколько раз.

Эрозионная стойкость комплексных многослойных покрытий, полученных по заявляемому способу из циркония, титана и их нитридов при испытании компрессорных лопаток из сплава типа Ti-6Al-4V с имплантацией ионов азота, по сравнению со стойкостью лопаток без покрытий показана на рис.4 и рис 5. Условия испытаний указаны на рисунках.

Износостойкость покрытий, имеющих одинаковое количество слоев и толщину 12-16 мк, подвергнутых и не подвергнутых ионной имплантации азотом или углеродом приведены ниже.

1. Сплав BT8(сплав Ti-6Al-3.5Mo-0.5Zr) без покрытия = 1,0
2. Покрытие на сплаве BT8 - Sc-Ti-TiN-Zr-ZrN = 0.12
3. Покрытие на сплаве BT8- Sc-Cr-Cr₂C₃-Zr-ZrC = 0.26
4. Покрытие на сплаве BT8- Sc-Ti-TiN+N-Zr-ZrN+N = 0.014
5. Покрытие на сплаве BT8-Sc-Cr-Cr₂C₃+C-Zr-ZrC+C = 0.037

- Условия испытания:
- скорость воздушно-абразивного потока- 120 м/сек,
- температура испытаний - комнатная,
- абразив -кварцевый песок фракции 10мкм,
- количество абразива-10 кг
- угол атаки 20 градусов.
- Варианты 4 и 5 с имплантацией соответственно азотом и углеродом.

Коррозионные испытания. Стальные и титановые лопатки без покрытий и с многослойным покрытием по заявляемому способу были подвергнуты испытаниям на коррозию следующим методом.

Титановые лопатки были нагреты при 300 градусах Цельсия, а лопатки из нержавеющей стали при 420 градусах в камере в течение 1 часа. Затем лопатки были охлаждены в 3% растворе хлорида натрия, выдержаны во влажной камере в течение 23 часов, и цикл был повторен 10 раз. Целью этих испытаний было смоделировать работу лопаток в течение 2 лет в условиях тропического морского климата. Оценка сопротивления коррозии производилась визуальным осмотром лопаток после каждого цикла и путем определения изменения массы во время и после коррозионных испытаний.

Результаты показали, что непокрытые лопатки имели среднее изменение массы в 1,3 г/м, в отличие от покрытых лопаток, которые не имели коррозии по визуальной оценке, а также изменений массы.

Испытания на коррозию также проводились в климатической камере при температуре 35°C в парах 3 % раствора поваренной соли в течение 3 суток для оценки коррозионных повреждений на питтинговую коррозию на пере лопатки (имитация стояночной коррозии), данные усреднялись по 8 лопаткам и приведены ниже:

1. Лопатки без покрытия - более 20 питтингов на пере,
2. Лопатки с серийным покрытием нитрида титана - 9-12 питтингов,
3. Лопатки с многослойным покрытием с имплантацией аргоном по настоящей заявке -1-3 питтинга.

Проведенные испытания на усталость лопаток с предпочтительными покрытиями и лопаток без покрытий показали, что усталостная прочность лопаток

после нанесения покрытий практически не изменяется, остается на высоком уровне и обеспечивает необходимую долговечность детали (рис.6). Условия испытаний лопаток на усталостную прочность соответствовали реальным параметрам при эксплуатации авиадвигателей.

После проведения комплекса лабораторных испытаний были выполнены испытания на натурных двигателях сбросом абразива с размерами частиц 100-200мк и количеством 1,2кг/час. Эти испытания также показали существенное повышение эрозионной стойкости лопаток направляющего аппарата и ротора компрессора авиадвигателя в жестких условиях по сравнению с непокрытыми лопатками. Внешний вид и характер повреждений поверхности показан на рис. 7.

Дополнительная использованная литература.

1. Риссел Х., Руге И. Ионная имплантация. М., Наука, 1983.
2. Гусева М.И. Ионная имплантация в неполупроводниковые материалы. Итоги науки и техники. т.5.М.ВИНИТИ, 1989.
3. Владимиров, Б.Г., Гусева М.И. Ионное легирование деталей машин, М., МДНТП 1984.
4. Ионная имплантация / ред Хирвонен Дж. К.М., М. Металлургия 1985.
5. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей /под ред. А.Г.Братухина, Г.К.Язова, Б.Е.Карасева, М.Машиностроение,1997, 416 с.
6. Мухин В.С. Смыслов А.М. Боровский С.М. Модифицирование деталей ГТД по условиям эксплоатации, М, Машиностроение 1955.
7. Комаров Ф.Ф. Ионная имплантация в металлы, М, Металлургия, 1990.

- ТюменцевА.Н., Коротаев А.Д.// Поверхность, 1998.№10. с 92
8. Борисов, Д.П. Коваль, Н.Н. Щапин П.М. //Изв. ВУЗов .Физика1994,№3, с 115.
9. Ромашов, И.Г., Чеканов, А.С. //Поверхность, 1993,№5, с 110.
10. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1986, 190 с.

Формула изобретения

1. Способ нанесения износостойких покрытий и повышения долговечности деталей, включающий ионную очистку поверхности, нанесение металлсодержащего покрытия на подложку катодным распылением в разряде инертного газа при одновременной бомбардировке подложки пучком ионов инертного газа, отличающийся тем, что покрытие наносят не менее, чем трехслойным, толщины слоев находятся в соотношении $(0,02-5,0):(0,04-10):(0,1-12,5)$ мк, причем, первый микрослой получают в разряде нейтрального газа из скандия, или иттрия, или редкоземельных металлов, или одного или смеси переходных металлов IVА-VIA групп, второй слой осаждением в смеси нейтрального и реакционных газов, этих же металлов, и третий слой – осаждением в смеси нейтральных и реакционных газов нитридов, или карбидов, или боридов, или их смесей указанных металлов, причем один или несколько слоев подвергают ионной имплантации аргоном, азотом, углеродом или бором в процессе осаждения, или после окончания процесса осаждения, а непосредственно после нанесения покрытия проводят виброобработку микрошариками.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что на подложку наносят микрослой из скандия, иттрия, или редкоземельных металлов толщиной 0,02-0,08 мк.
3. Способ по п. 1 ,отличающийся тем, что количество слоев выбирают из множества 3-500, преимущественно 3-24, а толщина первых трех слоев находится в соотношении 1,0:2,0:2,5.
4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что формирование слоев 2 и 3 обеспечивают соотношением парциальных давлений реакционных газов в диапазоне $(0,005-0,2:0,01-7,0)\times10^{-1}$ Па.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят ионами нейтрального газа, или азота, или углерода, или бора при ускоряющих напряжениях 10-50 кВ, дозах облучения 10^{14} - 10^{18} ион/см² и энергией ионов 5×10^3 - 1×10^5 эв.
6. Способ по п 1, отличающийся тем, что виброобработку микрошариками диаметром 0,5- 5 мм при амплитуде вибрации 2-8 мм проводят не позднее, чем через 10-30 мин после окончания процесса нанесения покрытия.
7. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве реакционных газов используют азот, метан, диборан, или их смеси с нейтральным газом, или между собой.

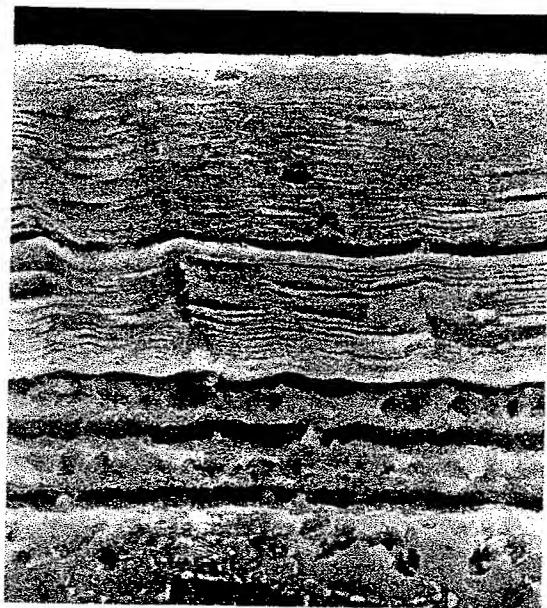


Рис. 1 Микроструктура износостойкого покрытия на лопатке
авиадвигателя из сплава титана, $\times 500 \times 2$

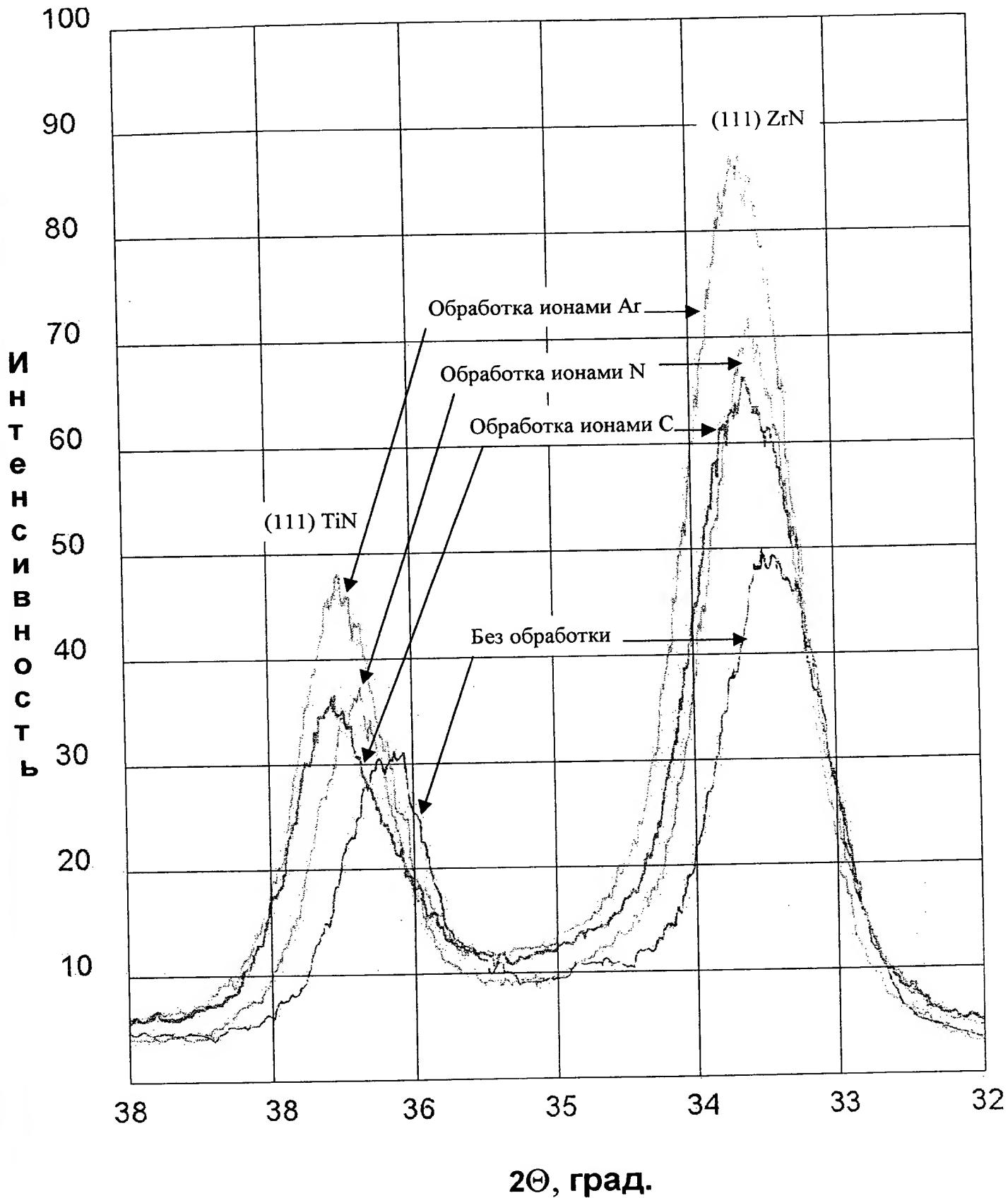
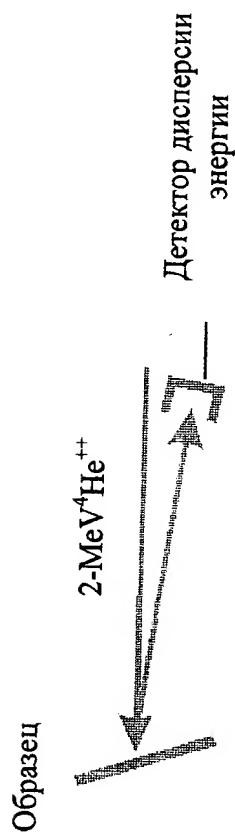


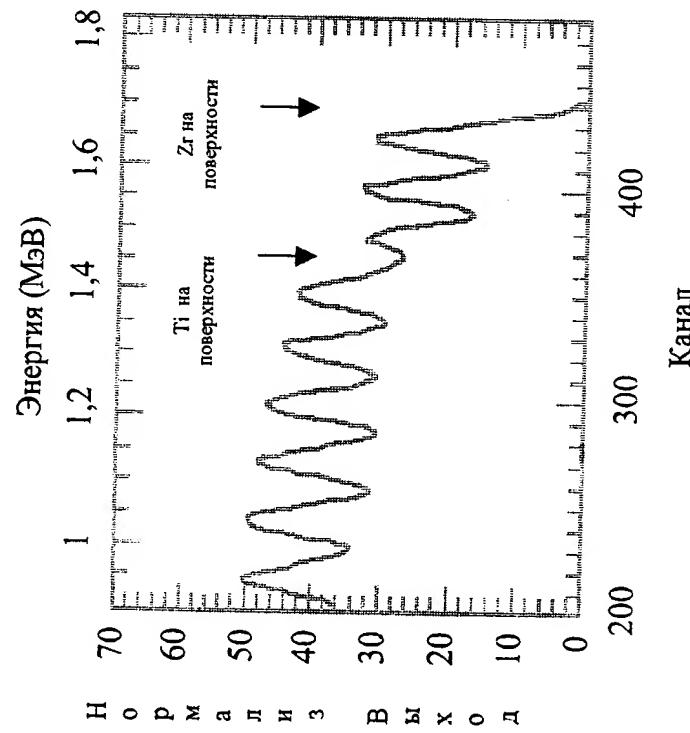
Рис. 2

Многослойная структура покрытия

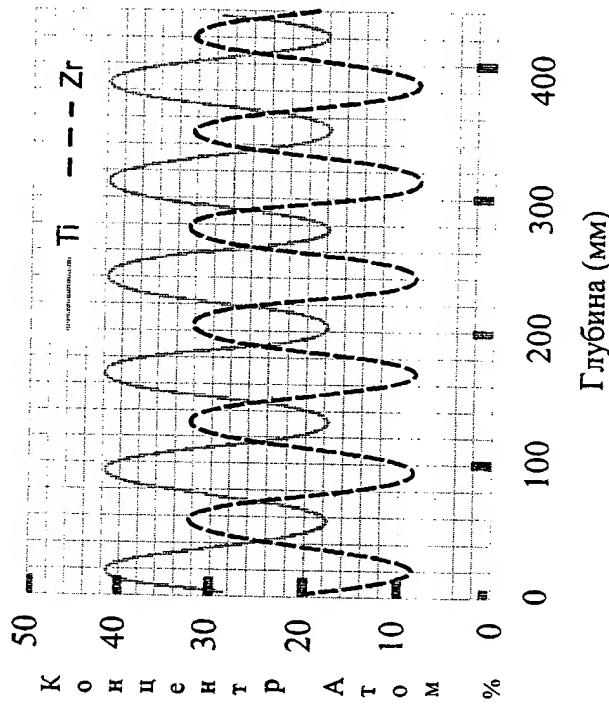
Определенная с помощью спектроскопа обратного рассеивания Резерфорда



- Функция энергии обратного рассеивания ионов по массе рассеивающихся атомов, углу рассеивания и глубине под поверхностью (через потерю энергии)
- Разворотка спектра обратного рассеивания показывает распределение состава по глубине



Профиль состава внешнего слоя покрытия

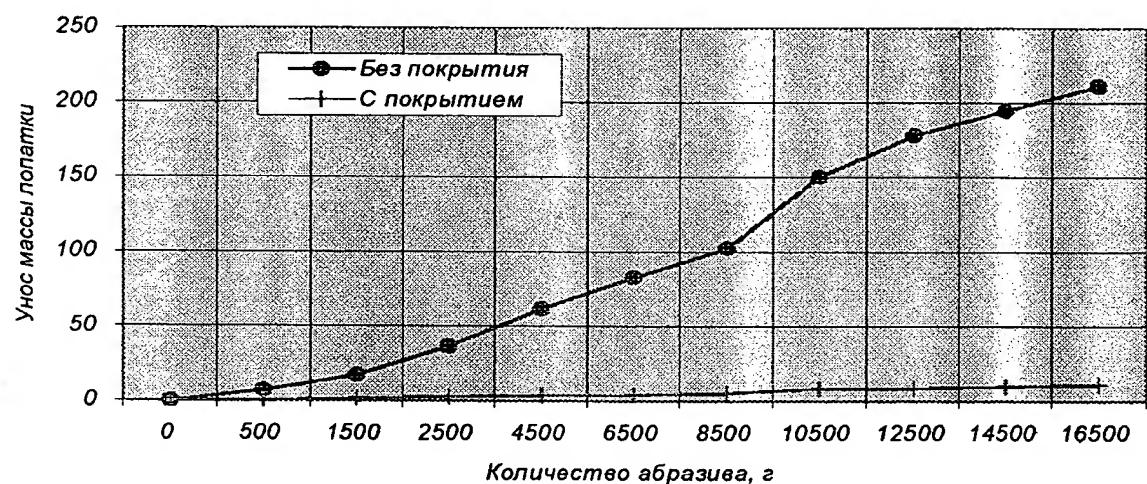


Глубина (мм)

Рис. 3

№ исп	Масса абразива, г	Вес лопатки, г		Унос массы лопатки, мг		Суммарный унос, мг	
		Без покрытия	С покрытием	Без покрытия	С покрытием	Без покрытия	С покрытием
0	0	25,93467	26,68606	0	0	0	0
1	500	25,92766	26,68604	7,01	0,02	7,01	0,02
2	1500	25,9176	26,68412	10,06	1,92	17,07	1,94
3	2500	25,89843	26,68318	19,17	0,94	36,24	2,88
4	4500	25,87291	26,68266	25,52	0,52	61,76	3,4
5	6500	25,85201	26,68203	20,9	0,63	82,66	4,03
6	8500	25,83202	26,68087	19,99	1,16	102,65	5,19
7	10500	25,78469	26,67814	47,33	2,73	149,98	7,92
8	12500	25,75645	26,67761	28,24	0,53	178,22	8,45
9	14500	25,74019	26,6761	16,26	1,51	194,48	9,96
10	16500	25,72354	26,67494	16,65	1,16	211,13	11,12

Сравнительное эрозионное испытание лопаток компрессора ГТД по "уносу массы"



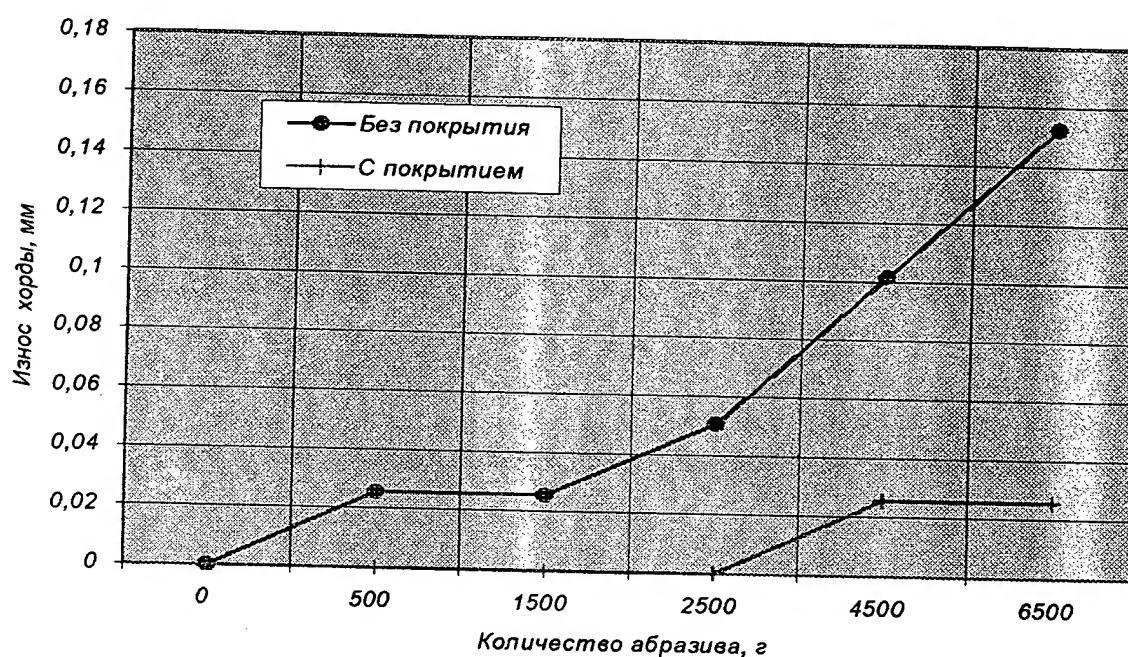
Условия испытания:

Скорость потока	212 м/с
Температура воздуха	20°C
Абразивный материал	Кремниевый песок, Основная фракция 10мкм
Угол атаки	20° к средней линии хорды

Рис. 4

№ исп	Масса абразива, г	Хорда		Износ хорды, мм		Сум. износ хорды, мм	
		Без покрытия	С покрытием	Без покрытия	С покрытием	Без покрытия	С покрытием
0	0	34,798	35,0012	0	0	0	0
1	500	34,7726	35,0012	0,0254	0	0,0254	0
2	1500	34,7726	35,0012	0	0	0,0254	0
3	2500	34,7472	35,0012	0,0254	0	0,0508	0
4	4500	34,6964	34,9758	0,0508	0,0254	0,1016	0,0254
5	6500	34,6456	34,9758	0,0508	0	0,1524	0,0254

Сравнительное эрозионное испытание лопаток компрессора ГТД по износу хорды

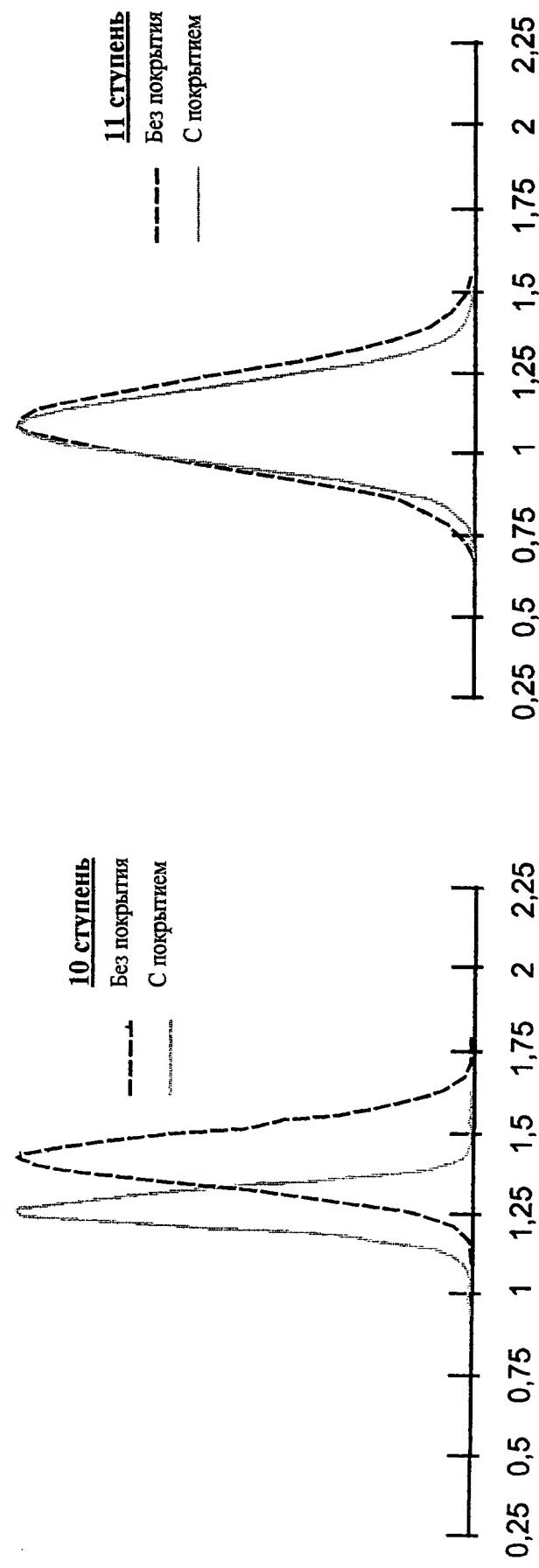


Условия испытания:

Скорость потока	212 м/с
Температура воздуха	20°C
Абразивный материал	Кремниевый песок, Основная фракция 10мкм
Угол атаки	20° к средней линии хорды

Рис. 5

Влияние покрытия на усталостную прочность лопаток компрессора ГТД



Нормализованная усталостная прочность

Нормализованная усталостная прочность

Рис. 6

Влияние покрытия на усталостную прочность образцов материала лопаток ГТД

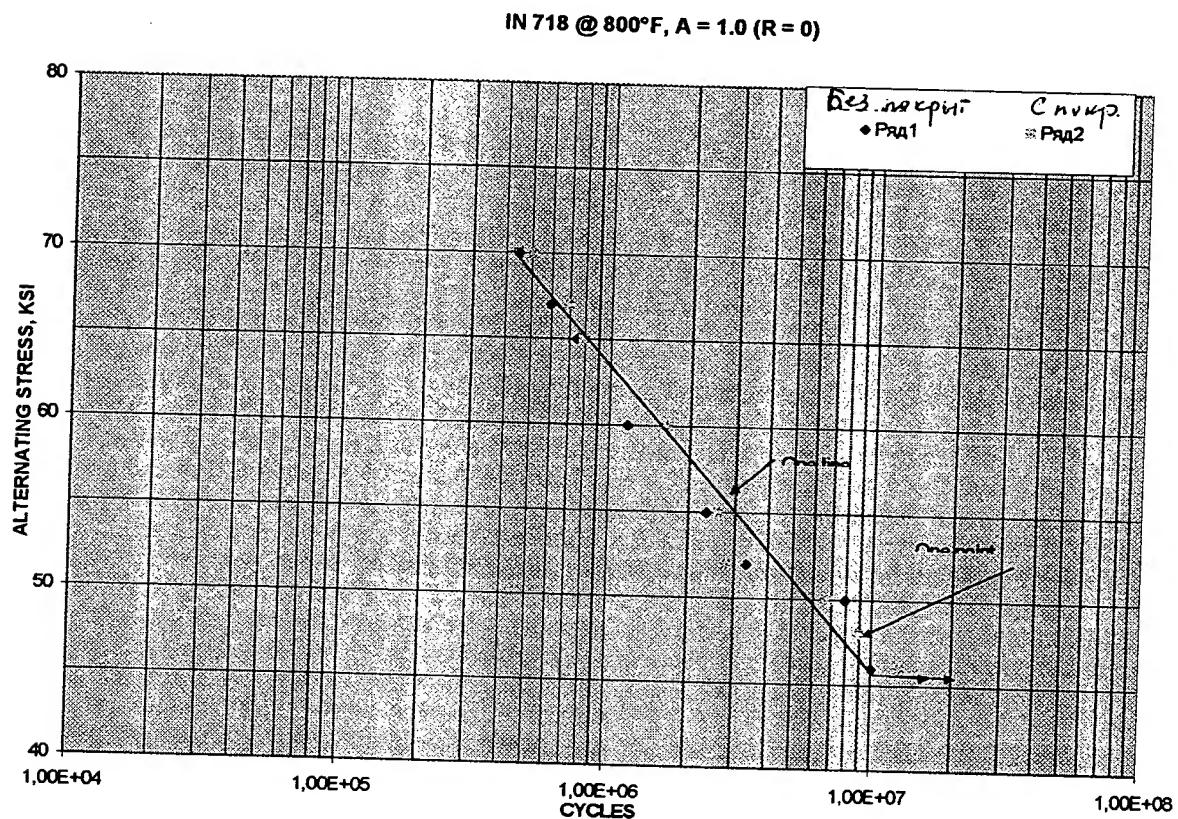


Рис. 6а

Лопатки с покрытием и без покрытия в составе компрессора после эрозионного испытания ГТД

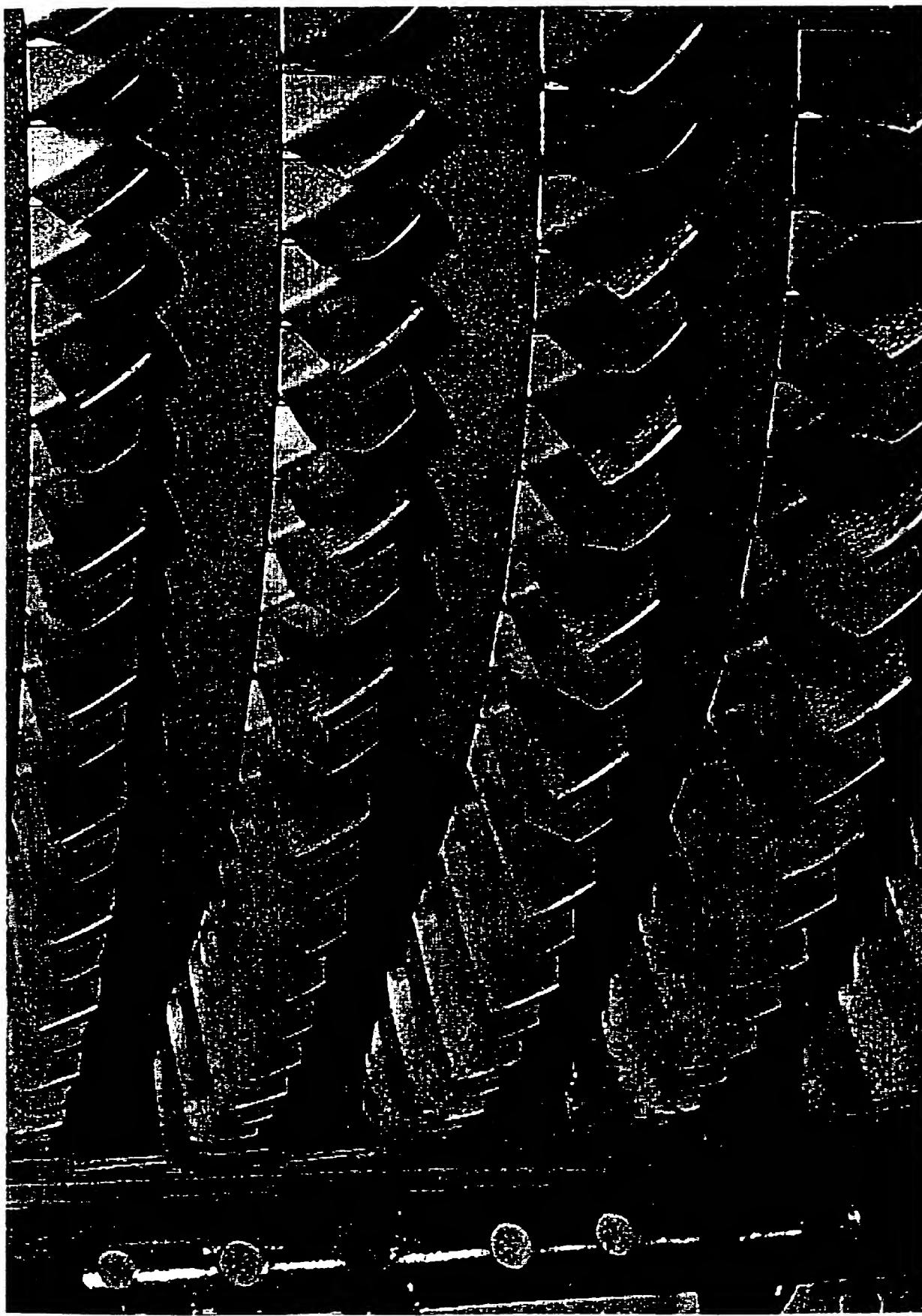


Рис. 7

Лопатки компрессора с покрытием и без покрытия после эрозионного испытания в составе ГГД

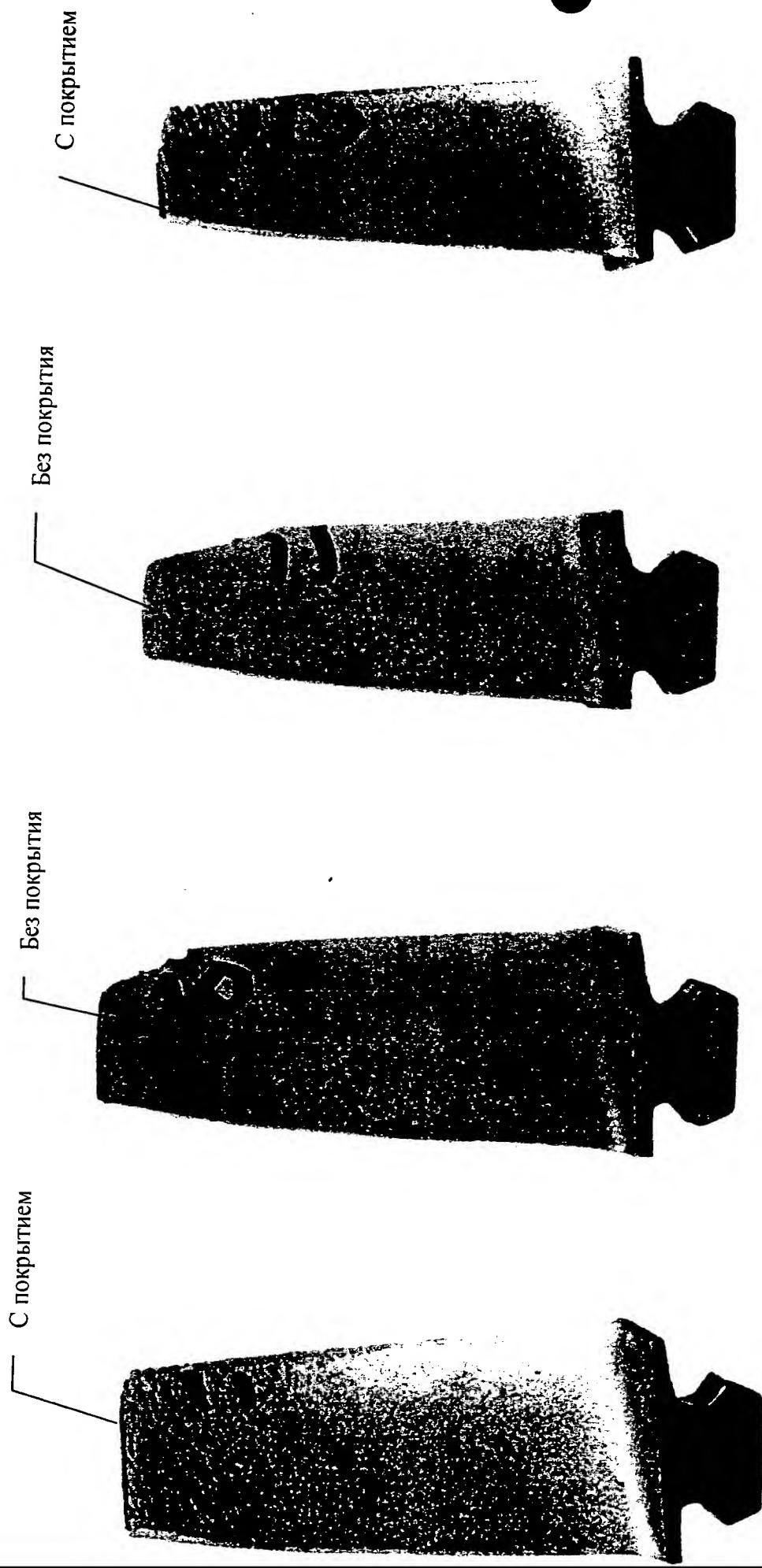


Рис. 7а

МКИ 6 С 23 С – 14/ 34

МКИ F 02B – 77/02,04

РЕФЕРАТ

Способ нанесения износостойких покрытий и повышения долговечности

деталей.

Изобретение относится к области металлургии и машиностроения, а именно к разработке способа повышения долговечности и надежности деталей машин путем нанесения покрытий на рабочие поверхности деталей, преимущественно лопаток компрессоров газовых турбин и их последующей обработки.

Сущность предполагаемого изобретения состоит в нанесении устойчивого к эрозии и коррозии покрытия на металлической детали, состоящего из множества микрослоев, где каждый из этих слоев состоит из одного или нескольких элементов группы переходных металлов, твердых растворов или фаз внедрения на их основе, и где один или несколько слоев подвергаются ионной имплантации высокоэнергетических неметаллических ионов, для того, чтобы вызвать изменения в структуре и составе осажденного слоя. После нанесения покрытия проводится дополнительная виброобработка поверхности детали микрошариками.

Способ обеспечивает создание покрытия с высоким сопротивлением износу, коррозии и сохранение на достаточном уровне усталостных свойств деталей, преимущественно лопаток компрессоров газовых турбин.